



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学教程

热 学

第三版

秦允豪 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



面向21世纪课程教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通物理学教程

热学

PUTONG WULIXUE JIAOCHENG REXUE

第三版

秦允豪 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第二版的基础上修订而成的。本书第一版是面向 21 世纪课程教材、“九五”国家级重点教材。本书曾先后荣获国家教委优秀教材一等奖、国家级优秀教材二等奖等奖项,作者秦允豪教授利用本书在南京大学讲授的“热学”课程于 2005 年被评为国家精品课程。本书在修订中保持了原书严谨扎实又联系实际、知识面宽等特点,并保持了将内容分为三个层次加选读材料的结构,仅根据当前教学学时和使用学校面广的情况,对内容做了相应的调整,维持最基本的内容不变,只将部分选讲内容调整为扩展内容,并根据当前科学发展中的最新进展对阅读材料进行了更新。全书共分为 6 章;导论、分子动理学理论的平衡态理论、输运现象与分子动理学理论的非平衡态理论、热力学第一定律、热力学第二定律与熵、物态与相变。

本书可作为高等学校物理类专业的教材,也可供其他专业的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学教程. 热学 / 秦允豪编. —3 版. —北京: 高等教育出版社, 2011. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 030090 - 1

I. ①普… II. ①秦… III. ①热学 - 高等学校 - 教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 215762 号

策划编辑 刘伟 责任编辑 程福平 封面设计 杨立新 责任绘图 于博
版式设计 范晓红 责任校对 王超 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京鑫海金澳胶印有限公司

开 本 787 × 960 1/16
印 张 26.5
字 数 490 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2002 年 1 月第 1 版
2011 年 1 月第 3 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
定 价 38.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30090 - 00

序

虽则当代科学发展的前沿未必都能在基础课教科书中得到充分的反映,但是由于学科视野的开拓和技术环境的变迁,必然会导致基础课教科书做出相应的变革,从而体现了新陈代谢的规律。

秦允豪教授在南京大学执教多年,长期承担了普通物理学中“热学”课程的任务,积累了丰富的教学经验和体会。这本经过多次修改和补充的教材就是他多年心血的结晶。一方面他力图保持我国物理教学严谨扎实的传统,另一方面也广泛吸取国外教学灵活求新的优点。这本教材的特色在于对于基本概念的阐述力求透彻清楚,层次分明,突出了规律与现象之间的联系,如书中对分子运动概念的引入,对能量均分定理的说明都可以作为例证,满足了基础课施教的要求。但它也尽可能触及一些学科发展新生长点,诸如包含耗散结构、熵与信息的关系等内容,使教材丰满充实,卓具时代气息,新颖可喜。总之,这是一本优秀的基础物理教材,值得推荐给广大的讲授或学习基础物理课的教师和学生。

冯 浩

1999年5月28日

编者的话

(第三版)

本书出版以来,多次修订,1995年被评为国家教委第三届优秀教材一等奖、2002年获全国普通高等学校优秀教材二等奖,也是面向21世纪课程教材。由编者使用本书主讲的热学课程,1993年被评为江苏省优秀教学一等奖,2001年被教育部评为创名牌课程中的优秀项目,并于2005年被评为国家级精品课程。

本教材第一版出版以来,一直被广泛采用,受到广大师生的欢迎和好评,被列为国家“十一五规划教材”而出版的本版在保持原有特色(详见本版所附《第一版编者的话》)的基础上,对内容做了适当的调整和补充。这次修订更加注意教学内容(包括供学生课外阅读的选读材料)和实际应用之间的联系。编者认为,基础理论的教学应该密切地、尽可能广泛地联系实际,包括联系当前科学技术、工程、社会、生产、生活方面的实际例子,特别是社会生活中的热点问题,诸如环境保护、全球天气变暖、太空探测、浓缩铀、清洁能源和可再生能源的利用等。这样不仅有利于基础理论的掌握,并且还有利于培养学生解决实际问题的能力,有利于激发学生的学习兴趣,也有利于培养学生的创新能力。因为无论是学习还是创新的欲望都是和学生的兴趣密不可分的,而开拓学生的视野有助于思路的开拓。

本版内容主要做了如下的修订:

其一:把第二版正文中大部分扩展性内容(都用小5号宋体印刷)编排为选读材料,且有所补充。如实用温度计简介、热膨胀现象、天空中的涨落(晴朗天空的蓝色和日落时太阳的红色)、同位素分离获得浓缩铀、台风 飓风 龙卷风、化学反应动力学 催化剂与酶、大气环流、太阳能热水器、超密态物质(白矮星 中子星 黑洞)、等离子体、水的结构与物理性质·水是生命之源、表面活性剂等。

其二:把第二版中的辐射传热内容安排为几个选读材料而做系统化的介绍。辐射传热是生产、生活、科学研究中随时会遇到的重要现象。由于热辐射属于量子问题,其基本定律必须通过量子统计才能严密导出,所以在普通物理的热学教学中一般不介绍辐射传热的问题,然而在所有的后继课程中又不会涉及,结果就成为大学物理教学中的一个盲点,这不能不说是教学中的一个很大缺陷,特别是减少温室效应防止全球气候变暖问题被列为世界上最重大的亟待解决的问题之

一后,这一缺陷就更为突出了,所以应该向广大学习物理学的学生普及这一知识,使得学生知道温室效应是如何产生的(其产生的原因是比较复杂的),为什么控制温室效应的进一步发展只是限制二氧化碳的排放而并不限制另一种温室气体——水气的排放。考虑到在一般的高等学校的热学课程中没有足够的时间讲授辐射传热,所以在本教材中作为选读材料来做比较系统而简要的介绍,并特别强调它的重要应用。书中首先在选读材料2.5中通过“分子动理论对光子气体的应用”的讲授粗略地导出了斯特藩-玻耳兹曼定律,然后在选读材料3.3中介绍辐射传热,再在选读材料3.4中介绍温室效应。

其三:恢复了原第一版中被收录而在第二版中被删除的选读材料——大气层结构,并且做了适当的扩充,特别是补充了臭氧层的内容(本教材特别注意有关环境保护内容的介绍,如温室效应、臭氧层的破坏、水是生命之源、树叶中的水分扩散到大气中的数量级的估计从而说明绿化的重要,见§3.2.1)。

其四:随着我国载人航天和嫦娥探月工程的开展,将探测火星计划,以及全球太空探测热的掀起,有关地球外太空(包括月球、太阳以及太阳系)的知识已成为人们非常关心的内容,它们本身是和热学有密切联系的。故本版中安排了“选读材料2.1地球大气逃逸、月球和行星大气、太阳和太阳风、地球磁层”。

其五:对某些选读材料做了调整和补充。如在宇宙大爆炸与宇宙膨胀中删除了某些内容,对暗能量做了补充,增加了暗物质。在液晶中补充了液晶显示器基本原理。

其六:在第五章热力学第二定律与熵中,安排了“选读材料5.4超流氦的喷泉效应,它违背热力学第二定律吗?”。利用液氮Ⅱ超流动性的二流体模型,通俗地解释了喷泉效应,这样,这个有关第二定律的似是而非的问题得到了解决。另外在第四章中安排了选读材料汽轮机,通过这一实例说明卡诺定理的重要性。

其七:为了减少篇幅,删除了原第二版中的选读材料耗散结构、摩擦力来源于分子力。

本版没有每章小结,采用加框的方法把重要的概念、公式和结果单独列出。

和第二版一样,为了适应不同层次的学校、不同程度的学生、不同专业的要求和不同学时情况,本版中的内容用三种字体印刷。所有用5号宋体印刷的内容,是按照少而精的原则所确定的最低要求,原则上所有学生都必须熟悉或者掌握。而所有5号楷体印刷的内容(在开头用“※”标出),它们仍然是比较重要的基本内容,但是教师可以根据各个学校的具体情况有选择地讲授。所有以小5号宋体印刷(在开头用“*”标出)的内容,基本上是扩展性的内容,可以让学生自主自学,其中包括所有的选读材料。请使用者特别注意。

本版编写中得到高等教育出版社杨祥、胡凯飞、刘伟等先生的关心和帮助,众多院校教师和学生在使用中提出了不少宝贵意见,编者在此表示衷心感谢!

编者的话(摘要)

(第二版)

第二版主要在下述方面做了修订:

(1)为了使层次不同、生源水平不同、教学总学时不同的高校中的教师在讲授中更利于选择其中的合适内容,《热学》书分为四个层次:①以5号宋体印刷的内容为最基本的,它自成完整体系;②以5号楷体印刷的内容也是十分重要的,教师可根据实际情况有选择地讲授;③以小5号宋体印刷的内容一般为扩展性的;④每章后面的选读材料是供学生课外阅读用的。

(2)本版对第一版的某些内容作了节删和补充。

(3)每章后面不做小结,在正文中把最基本的概念和公式加边框突出出来。

(4)本书第一版中很多习题选自美英一流大学的研究生试题,新颖而生动活泼,也有一定难度,而一些较简单的习题又偏少,为了能更适于地方院校的使用,在第二版的《热学》中删去一些难题,增加了一些简单习题,对于一些仍可能较难的习题加了三角符号。本书不少思考题适于学生讨论[见第一版编者的话之(五)]。与第一版相同,很多习题在书后答案之前加了提示。另外加有提示的思考题的数量增加较多,希望学生尽量独立完成解题。

(5)以三位一体的方式成套推出热学教材,它们是:①《热学》;②《热学习题思考题解题指导》:主要对书中习题和思考题的解题方法作指导,同时,补充部分更有新意及有一定难度的习题及解答,本书对学生的能力培养及准备研究生考试有一定帮助;③《热学课件》光盘:供教师讲课时使用。使教师能在课堂上很方便地选用所需的教学内容。

秦允豪
2004年2月

编者的话

(第一版)

本书是在南京大学出版社 1990 年出版的《热学》教材的基础上,根据面向 21 世纪课程教材的要求,重新修订而成的,是编者多年来在南京大学讲授热学、热力学统计物理及为报考中美联合招收物理研究生(简称 CUSPEA)设置的讲座的基础上,学习中外(特别是美国)物理教学、教材改革建设的有益经验编写而成的。它既继承我国传统物理教学严谨扎实的传统,又注意改正传统教学深而窄、不太注重实际和求新的缺点,以力求体现“实、新、宽、活”四个字。《热学》教材出版后受到同行、知名专家及广大学生的好评,荣获 1995 年国家教委第三届优秀教材奖一等奖,并于 1996 年底被评为普通高等教育“九五”国家级重点教材,被教育部批准在高等教育出版社出修订版。本教材的出版也被列入教育部普通高等教育面向 21 世纪教学内容与课程体系改革项目中。

本修订版对原版作了较大幅度修改、补充,使之能在“实”(严谨扎实)的基础上更好地体现“新、宽、活”的特点,以便能更有利于学生创新能力与应变能力的提高。

(一) 所谓“新”是指在低年级基础课中培养学生的创新意识,为创新能力的培养打下良好基础 为此,不仅要使学生对当今科技的新发现、新成就及其应用前景有所了解,而且要使他们对之产生浓厚兴趣,从中得到思想上的启迪与动力,从而产生时代紧迫感。对科技前沿的介绍,基础课教学与科普讲座不同的是,它必须与教学水平相适应。教师必须对科学前沿及高新技术中相关内容加以精选和提炼,突出其物理思想和物理思考方法,并深入浅出地讲授,使广大低年级学生都能接受。考虑到课堂上只能精讲基本概念和基本方法从而为学习打下扎实基础,所以必须处理好“实”与“新”、“精”与“泛”之间的关系。为此,编者把新教材写得更充实、新颖,对一些非基本的“新”与“宽”的内容打星号或作为选读材料,并用小字编排,在课堂讲授中可较少涉及或略讲,主要由学生课外阅读或进而安排课外讲座来解决,以便实行因材施教。在新编教材中有关科学前沿的内容有非平衡态理论(耗散结构)、宇宙膨胀、超流与稀释制冷机等。有关高新技术的内容有信息科学(熵与信息、激光是耗散结构等)、生物工程(遗传密码与生物高聚物中的信息、生物中的负熵等)。考虑到 21 世纪应力争成为人

与自然和谐发展的世纪,所以应对大学生加强环保教育。为此,本书特意编排了如下环境科学的内容:温室效应、臭氧层破坏、南极 Dome A 冰盖的冰样与大气污染、水是生命之源、树叶水分之散失等。

(二) 所谓“宽”,不仅指宽专业口径及宽知识面,更要有较强的综合各学科知识的能力 学问不是一维的,而是立体或多维的。知识面广,解决问题时可资利用的工具就多,思考问题就会左右逢源、思路开阔,起到触类旁通作用。这说明思维具有广阔性,因而在基础课教学中应适当加强本学科中各分支学科间的联系以及适当加强本学科与其他学科间的横向联系,在联系、比较、综合中培养科学思维方法,从而为创新能力的培养打下宽实的基础。教材中与天文、地质、地理、气象、化学、生物、医学等学科间联系的实例有:太阳表面温度估计、大气温度垂直递减率、地球及大气的圈层结构、大气逃逸、地幔对流、大气环流、台风及云雾的形成、热化学、化学反应动力学、表面活性剂、化学振荡、人的体温调节、冰川滑移运动等。教材中加强热学与力、电、光的联系的实例有:将欧姆定律推广于黏性流体而引入管道流阻概念、推广于热传导过程而引入热阻概念等。在经典物理中开些窗口适当地渗入某些近代物理概念利于学生更全面深入地理解基本概念,也利于今后近代物理课程中新概念的牢固树立,并激发学生的学习兴趣。如在讲授麦克斯韦分布时就讲到,在绝对零度时金属中的传导电子并非静止不动,相反以 10^6 m/s 的平均速率在运动,其速度分布为费米球,并存在高达 10^{10} Pa 的简并压强。“宽”还反映为本教材加强与生产技术中应用的联系。如教材中介绍了内燃机、燃料电池、冰箱与制冷机、热泵型空调、超速离心技术、多孔及多屏绝热技术、温差发电及制冷等。

“新”和“宽”采用“渗透法”,杨振宁教授指出:“中国传统学习是一种‘透彻法’,懂得透彻很重要,但若对不能透彻了解的东西就抗拒,这不好。‘渗透法’学习的好处,一是可吸收更多的知识,二是对整个的动态有所掌握”^①。

(三) 所谓“活”是指在教学中特别强调科学思维方法的训练,而它们又是以良好的思维结构——思维的广阔性、思维的深刻性与思维的灵活性为基础的

思维的深刻性即指较高水平的独立思考能力。思维的灵活性是指思维有随机应变、机动灵活的能力,是指不是孤立地、静止地、封闭地观察思考问题,而是能进行多方位、多层次的思考。现行教育中过分强调逻辑思维而忽略形象思维(或称直觉思维),重演绎法而轻归纳法,多数学推演而少联系现象,片面地强调严密性。但是,逻辑的严谨并不一定能导致科技的创新。科学发现和技术创新常首先不是在严密推理中,而首先是在想象力自由发挥中萌发的。想象力的自由发挥在思维科学中称为发散思维,它是指从多种设想出发,不按常规地寻找变

① 参见:青年文摘. 1995-11-25.

异,使信息朝各种可能方向发散,从各方面寻找答案,从而引出更多信息。我国现行教育对这种训练不够重视。本教材中的思考题有助于发展学生的科学想象力。又如教材中的熵增加原理、玻耳兹曼分布、能量均分定理等,均是由归纳法得到的,而分子相对速率分布(§3.6.3)是从与麦克斯韦速率分布的对比中得到的。思维的灵活性还反映在严密的推演与以试探性、近似性为主要特征的“模糊”思维方法这二者的灵活应用上。对于任何实际问题,精确只是相对的,近似才是绝对的。但是学生从小学到中学已形成片面追求精确的思维定式。要培养学生的创造性思维能力,就必须让学生学会取近似、用近似及会应用近似证法,学会把合理的想象与逻辑推理结合起来,把研究对象主要特征突出出来形成理想模型后再来分析讨论的方法。从简单的典型实例(或是理想模型)入手进行分析讨论常能解决概念上的困难,并指出新的计算步骤或近似方法,这是科学思维和科学研究的重要方法。书中十分强调物理模型,多处应用近似证法。例如均先后用两种不同物理模型来证明气体分子碰壁数及气体压强公式(§1.6.1及§2.5.1),虽然近似程度不同,但最后结果相同。书中多处用 $\overline{v^2} \approx \bar{v}^2$ 的关系来证明一些公式。其他如数量级估计、量纲分析等物理思考方法的应用,也能增强学生的物理洞察力(即能迅速而直接地了解有重要意义的那些关系的能力)。

(四) 所谓“精”是指精选经典教学内容 对传统教学内容通过精选使之有所加强或有所削弱。例如对某些较古老的与学科体系建立及当前科技发展及应用不甚密切的内容可不讲或少讲,减少与中学物理的重复,适当简化数学推演,以便突出物理思想。编者认为在基础物理中加强数学,应注意加强数学建模能力(例如将实际问题抽象为物理模型,然后再转化为数学模型去求解的能力)的培养,而不是单纯地强调数学推演。书中很多习题选自CUSPEA试题及多所一流大学的Qualfy(美国博士生资格考试)试题,涉猎面广、生动活泼且联系实际,其数学运算并不复杂,但对培养物理思考方法及数学建模能力十分有利。

(五) 思考题与课堂讨论 书中有很多的思考题是编者多年来教学经验的总结与积累,它们能使学生针对一个个精心设计的问题进行深入而具体的思考,有的切中概念的误区及似是而非之处,目的是引导学生的思维发生发散,希望学生能针对所产生的分歧进行讨论。我国传统教学模式是教师讲、学生听,学生缺乏充分发表个人见解及相互讨论的机会,不像美英等国的教育放得比较松,“胡思乱想”统统鼓励。而有些事情是要先经过“胡思乱想”的探索,然后按部就班地去做。氢弹之父,泰勒就是这样一个典型人物。杨振宁教授说:“泰勒的物理学有一个特点,是他有许多直觉的见解。这些见解不一定都是对的,恐怕90%是错的,不过没有关系,只需要10%是对的就行了。而他不怕他讲的见解

是错的,这给我很深的印象”^①。讨论也必须在互相帮助、相互信任的气氛中自由地、无拘无束地进行。鉴于上述考虑,编者从1984年开始至今在历届的“热学”课中均开设课堂讨论,每学期3、4次,每次2 h,教师再讲评1 h,讨论时不设组长,教师巡回于各小组之间启发引导。讨论题全部选自教材中思考题。以赵凯华教授为首的专家组对编者所主持的“热学课程改革与建设”成果所作的鉴定书中指出:“采用启发式、讨论式的教学方法,精心组织各教学环节,启发、引导学生独立思考,发挥学生科学想象力,针对学生长期形成的缺乏相互研讨习惯的弱点,精心设计课堂讨论。由于讨论课能启发学生积极思考,使学生能很快进入‘角色’,在讨论中又重视发挥教师启发引导作用,充分调动学生的主动性与积极性,不少学生写出了小论文。学生普遍反映,课堂讨论效果好、收获大、兴趣浓”。鉴定书中还指出:“热学课有利于学生从单纯的学习接受型向分析研究型的转变。”

全书共七章,基本内容以大字排版,涉及“新”和“宽”的非基本内容打星号或安排在每章后面作为选读材料,以小字排版。一般,按每周3学时安排讲解本书的基本内容,时间是够的。非基本内容主要供学生自学及课外阅读用,讲课教师也可选择部分内容在课内详讲、略讲或一带而过,也可作课外讲座用。考虑到物性学是物理学中将物理规律联系科技与生产实际的重要组成部分,而在普通物理中讲解物性无论是风格上还是内容上与固体物理的侧重点都不同,故编者在第六章中做了更多的充实(在课内时间不允许讲时,可供学生课外阅读之用)。辐射传热是物理教学中“三不管”的内容,但它却十分有用,而为了讲解辐射传热,必须介绍热辐射。编者在选读材料2-2中利用平均值、卡诺定理、气体分子碰壁数等概念,粗略地导出了斯特藩-玻耳兹曼定律,并引入基尔霍夫定律。

全书内容丰富,知识性、趣味性很强,初读者可仔细翻阅一下目录及书末之索引,它有助于您找到您所感兴趣的内容。全书精选了160道思考题、近200道习题及45道例题,书后除给出答案外,对部分思考题及较难的习题还有提示,希望学生只是在解题确实十分困难的情况下才去查看提示,这样才有助于您解题水平的提高。书中有较翔实各种数据表,在书后附录中有这些数据表的索引。附录中还列出了一些物理常量及有关太阳系、银河系、宇宙的数据。

编者在本书初版与修订版编写出版过程中得到中国物理学会前理事长冯端院士与中国物理学会副理事长兼教学委员会主任赵凯华教授的指导、关怀与支持。冯端院士在百忙之际还为本书撰写了序言。编者对两位德高望重的老师、

^① 参见:杨振宁.读书教学四十年.高能物理,1985-2-2.

前辈的感激之情难于言表。由于编者水平有限,编写及成书时间十分匆促,书中定有不少错误、不当、遗漏之处,敬请读者批评指正。

编者

1999年6月于南京大学

目录

| | |
|---|----|
| 第一章 导论 | 1 |
| § 1.1 宏观描述方法与微观描述方法 | 1 |
| § 1.1.1 热学的研究对象及其特点 | 1 |
| § 1.1.2 宏观描述方法与微观描述方法 | 2 |
| § 1.2 热力学系统的平衡态 | 4 |
| § 1.2.1 热力学系统 | 4 |
| § 1.2.2 平衡态与非平衡态 | 4 |
| § 1.2.3 热力学平衡 | 5 |
| * § 1.2.4 非平衡态的宏观描述 | 6 |
| § 1.3 温度 | 7 |
| § 1.3.1 温度 | 7 |
| § 1.3.2 热力学第零定律 | 7 |
| § 1.3.3 温标 | 9 |
| § 1.4 物态方程 | 13 |
| § 1.4.1 物态方程 | 13 |
| § 1.4.2 体膨胀系数、压缩系数、压强系数 热膨胀现象 | 14 |
| § 1.4.3 理想气体物态方程 | 16 |
| § 1.4.4 混合理想气体物态方程 | 18 |
| § 1.5 物质的微观模型 | 18 |
| § 1.5.1 物质由大数分子组成 | 19 |
| § 1.5.2 分子热运动的例证——扩散、布朗运动与涨落 | 20 |
| § 1.5.3 分子间的吸引力与排斥力 | 23 |
| § 1.6 理想气体微观描述的初级理论 | 25 |
| § 1.6.1 理想气体微观模型 | 25 |
| § 1.6.2 单位时间内碰在单位面积器壁上平均分子数 $\Gamma = \frac{nv}{6}$ | 27 |
| § 1.6.3 理想气体压强公式、压强的单位换算 | 28 |
| § 1.6.4 温度的微观意义 | 31 |

| | |
|---|----|
| * § 1.6.5 气体分子碰壁数和 $p = nkT$ 公式的简单应用 | 32 |
| § 1.7 分子间作用力势能与真实气体物态方程 | 34 |
| § 1.7.1 分子间相互作用势能曲线 | 34 |
| § 1.7.2 分子碰撞有效直径、固体分子热振动、固体热膨胀 | 36 |
| § 1.7.3 范德瓦耳斯方程 | 38 |
| * § 1.7.4 昂内斯方程 | 42 |
| * § 1.7.5 几种典型的分子作用力势能曲线 | 43 |
| 选读材料 1.1 实用温度计简介 | 44 |
| 选读材料 1.2 热膨胀现象 | 47 |
| 选 1.2.1 岩石风化 | 47 |
| 选 1.2.2 在古代热胀冷缩用于开山凿河 | 48 |
| 选 1.2.3 伸缩缝 高速铁路中的无缝钢轨 | 48 |
| 选读材料 1.3 天空中的涨落 | 49 |
| 选 1.3.1 为什么天空是蓝色的? 为什么日出日落时太阳是红色的? | 49 |
| 选 1.3.2 光的散射 | 49 |
| 选读材料 1.4 范德瓦耳斯方程中的 b 是分子固有体积的 4 倍的证明 .. | 50 |
| 思考题 | 51 |
| 习题 | 52 |
| 第二章 分子动理学理论的平衡态理论 | 57 |
| * § 2.1 分子动理学理论与统计物理学 | 57 |
| § 2.2 概率论的基本知识 | 59 |
| § 2.2.1 伽尔顿板实验 | 59 |
| § 2.2.2 等概率性与概率的基本性质 | 60 |
| § 2.2.3 平均值及其运算法则 | 61 |
| § 2.2.4 均方偏差 | 63 |
| § 2.2.5 概率分布函数 | 63 |
| § 2.3 麦克斯韦速率分布 | 66 |
| * § 2.3.1 分子射线束实验 | 66 |
| § 2.3.2 麦克斯韦速率分布 | 68 |
| § 2.4 麦克斯韦速度分布 | 72 |
| § 2.4.1 速度空间 | 72 |
| § 2.4.2 麦克斯韦速度分布 | 75 |
| * § 2.4.3 相对于 v_p 的(麦克斯韦)速度分量分布与速率分布·误差函数 | 76 |
| * § 2.4.4 从麦克斯韦速度分布导出速率分布 | 78 |
| * § 2.4.5 绝对零度时金属中自由电子的速度分布与速率分布(费米球) | 79 |

| | |
|---|-----|
| * § 2.5 气体分子碰壁数及其应用 | 80 |
| § 2.5.1 由麦克斯韦速度分布导出气体分子碰壁数 | 80 |
| § 2.5.2 气体压强公式的导出 · * 简并压强 | 82 |
| § 2.5.3 分子(原子)束技术与速率分布 | 83 |
| § 2.5.4 热电子发射 | 85 |
| § 2.6 外力场中自由粒子的分布 · 玻耳兹曼分布 | 86 |
| § 2.6.1 等温大气压强公式 · * 悬浮微粒按高度分布 | 86 |
| * § 2.6.2 旋转体中粒子径向分布 · * 超速离心技术 | 88 |
| * § 2.6.3 玻耳兹曼分布 | 89 |
| § 2.7 能量均分定理 | 90 |
| § 2.7.1 理想气体热容 | 91 |
| § 2.7.2 自由度与自由度 | 92 |
| § 2.7.3 能量均分定理 | 94 |
| * § 2.7.4 能量按自由度均分的物理原因 | 96 |
| * § 2.7.5 能量均分定理用于布朗粒子 | 97 |
| * § 2.7.6 能量均分定理的局限 · * 自由度的冻结 | 98 |
| * § 2.7.7 固体的热容 · 杜隆-珀蒂定律 | 99 |
| 附录 2.1 一些定积分公式 | 102 |
| 选读材料 2.1 地球大气逃逸、月球和行星大气、太阳和太阳风、地球 磁层 | 102 |
| 选 2.1.1 地球大气逃逸 | 102 |
| 选 2.1.2 月球大气 | 103 |
| 选 2.1.3 行星大气 | 104 |
| 选 2.1.4 太阳 | 106 |
| 选 2.1.5 太阳风 | 107 |
| 选 2.1.6 地球磁层——地球生命的第一把保护伞 | 108 |
| 选读材料 2.2 同位素分离获得浓缩铀 | 109 |
| 选读材料 2.3 子系温度与负温度 | 110 |
| 选读材料 2.4 台风 飓风 龙卷风 | 112 |
| 选读材料 2.5 热辐射——分子动理论对于光子气体的应用 | 113 |
| 选 2.5.1 光子的主要特征 | 113 |
| 选 2.5.2 热辐射 普朗克定律 黑体 | 114 |
| 选 2.5.3 光压 | 116 |
| 选 2.5.4 斯特藩-玻耳兹曼定律 | 118 |
| 思考题 | 119 |

| | |
|--|------------|
| 习题 | 121 |
| 第三章 输运现象与分子动理学理论的非平衡态理论 | 126 |
| § 3.1 黏性现象的宏观规律 | 126 |
| § 3.1.1 牛顿黏性定律 层流 *湍流与混沌 | 126 |
| § 3.1.2 泊肃叶定律 · *管道流阻 | 132 |
| § 3.1.3 斯托克斯定律 · *云、雾中的水滴 | 134 |
| § 3.2 扩散现象的宏观规律 | 135 |
| § 3.2.1 菲克定律 · *自扩散与互扩散 | 135 |
| * § 3.2.2 看作布朗粒子运动的扩散公式 $\overline{x^2} = 2Dt$ | 138 |
| § 3.3 热传导现象的宏观规律 | 140 |
| § 3.3.1 傅里叶定律 · *线性输运与非线性输运 | 140 |
| * § 3.3.2 热欧姆定律 | 142 |
| * § 3.3.3 多孔绝热技术 | 143 |
| * § 3.4 对流传热 | 144 |
| § 3.4.1 自然对流 | 144 |
| * § 3.4.2 牛顿冷却定律 · *集成电路的散热 | 146 |
| * § 3.4.3 两相对流传热 · 热管 | 147 |
| § 3.5 气体分子平均自由程 | 147 |
| § 3.5.1 碰撞(散射)截面 | 148 |
| § 3.5.2 分子间平均碰撞频率 | 149 |
| * § 3.5.3 气体分子间相对运动速率分布 | 151 |
| § 3.5.4 气体分子平均自由程 | 152 |
| * § 3.6 气体分子碰撞的概率分布 | 153 |
| § 3.6.1 气体分子的自由程分布 | 154 |
| * § 3.6.2 气体分子碰撞时间的概率分布 | 155 |
| § 3.7 气体输运系数的导出 | 156 |
| § 3.7.1 气体黏度导出 | 156 |
| § 3.7.2 气体的热传导系数与扩散系数 | 159 |
| § 3.7.3 与实验结果的比较 | 161 |
| § 3.8 稀薄气体中的输运过程 | 163 |
| * § 3.8.1 稀薄气体的特征 | 163 |
| § 3.8.2 稀薄气体中的热传导现象及*黏性现象、*扩散现象 | 164 |
| 选读材料 3.1 量纲分析法简介 | 168 |
| 选读材料 3.2 化学反应动力学 催化剂与酶 | 170 |
| 选读材料 3.3 辐射传热 | 173 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 选 3.3.1 基尔霍夫定律····· | 173 |
| 选 3.3.2 辐射传热····· | 175 |
| 选 3.3.3 太阳表面温度的估计····· | 176 |
| 选 3.3.4 温室减少热辐射 地球表面平均温度的估计····· | 177 |
| 选 3.3.5 空腔辐射传热 人体辐射热损失····· | 179 |
| 选读材料 3.4 温室效应····· | 180 |
| 选读材料 3.5 大气环流——大气中的自然对流传热····· | 182 |
| 选读材料 3.6 太阳能热水器····· | 183 |
| 思考题····· | 184 |
| 习题····· | 185 |
| 第四章 热力学第一定律····· | 189 |
| § 4.1 可逆与不可逆过程····· | 189 |
| § 4.1.1 准静态过程····· | 189 |
| * § 4.1.2 弛豫时间····· | 191 |
| § 4.1.3 可逆与不可逆过程····· | 192 |
| § 4.2 功和热量····· | 194 |
| § 4.2.1 功是力学相互作用下的能量转移····· | 194 |
| § 4.2.2 体积膨胀功····· | 195 |
| § 4.2.3 其他形式的功····· | 197 |
| § 4.2.4 热量与热质说····· | 199 |
| § 4.3 热力学第一定律····· | 201 |
| § 4.3.1 能量守恒与转换定律····· | 201 |
| § 4.3.2 内能定理····· | 203 |
| § 4.4 热容与焓····· | 204 |
| § 4.4.1 定体热容与内能····· | 204 |
| § 4.4.2 定压热容与焓····· | 205 |
| * § 4.4.3 化学反应中的反应热、生成焓及赫斯定律····· | 206 |
| § 4.5 第一定律对气体的应用····· | 208 |
| § 4.5.1 理想气体的内能·焦耳实验····· | 208 |
| § 4.5.2 理想气体的等体、等压、等温过程····· | 210 |
| § 4.5.3 绝热过程····· | 211 |
| * § 4.5.4 大气温度绝热递减率····· | 216 |
| * § 4.5.5 气体声速公式····· | 219 |
| § 4.5.6 多方过程····· | 221 |
| § 4.6 热机····· | 226 |